

下水道におけるウイルス対策に関する調査委員会
報告書

平成22年3月

委員の構成

下水道におけるウイルス対策に関する調査委員会

(順不同・敬称略)

(平成 22 年 3 月時点)

委員長	大村 達夫	東北大学大学院工学研究科土木工学専攻教授
委員	田中 宏明	京都大学大学院工学研究科附属 流域圏総合環境質研究センター教授
委員	宇田川 悦子	国立感染症研究所村山分室ウイルス第二部主任研究官
委員	岡本 誠一郎	独立行政法人土木研究所材料地盤研究グループ リサイクルチーム上席研究員
委員	植木 洋	宮城県保健環境センター微生物部副主任研究員
委員	村上 孝雄	日本下水道事業団技術開発研修本部技術開発部長
委員	岡田 由紀夫	岩手県県土整備部下水環境課総括課長
委員	依田 修	東京都下水道局施設管理部環境管理課長
委員	荒井 均	京都市上下水道局下水道部計画課長
委員	平石 英実	神戸市建設局下水道河川部計画課主幹 (水質計画担当)
旧委員	土居 通治	(当時) 京都市上下水道局下水道部計画課長
旧委員	和泉 恵	(当時) 神戸市建設局下水道河川部参事 (水質計画担当)

まえがき

毎年、冬季になると、感染性胃腸炎患者の報告数が増加し、社会的な関心が高まっている。感染性胃腸炎の原因は、ウイルスや細菌等であり、冬季に発生する感染性胃腸炎の多くは、ノロウイルスが原因と推定される。

ノロウイルスについては、まだ解明されていないことが多く、様々な分野で研究が行われている段階である。下水道分野においても、ノロウイルスをはじめとする病原ウイルスについて、その挙動や下水道から排出された後の公共用水域への影響等を体系的に行った調査は、定量的な測定方法が最近になって開発されたということもあり、国内のみならず海外においても極めて少ない。

ノロウイルスは、人の体内で増殖し、排泄されることで下水道に大量に流入することになり、下水処理場におけるノロウイルス除去の役割は重要である。また、下水処理水については、その放流先が水産水域となっている場合や水道水源となっている場合、下水処理場内外において再利用されている場合がある等、水系リスク低減の観点からも、ノロウイルスの下水道施設における挙動実態や除去特性、放流先公共用水域における挙動の把握が急がれている。

そこで、下水処理場におけるノロウイルスの挙動実態を把握し、現在の下水処理施設の除去性能を評価し、下水道におけるノロウイルス対策について検討を行うことを目的とし、平成 20 年 11 月『下水道におけるウイルス対策に関する調査委員会』が設置された。

本委員会では、国内外の文献調査や下水処理場における実態調査結果をもとに、下水道におけるノロウイルスの挙動等について検討を行い、以下の事項を中心に整理してきた。

- ・ ノロウイルス問題の概要
- ・ 下水試料におけるノロウイルス定量方法の検討
- ・ 下水道におけるノロウイルスの実態
- ・ 下水道におけるノロウイルス除去効果

本書は、以上の検討結果をとりまとめ、下水道におけるウイルス対策に関する調査委員会報告書として整理したものである。今後、下水道管理者がノロウイルス対策について検討する際に、本報告書を参考とされるようお願いするとともに、今なお未解明な部分が多く残されていることから、今後も継続した調査あるいは研究が行われるよう期待する。

平成 22 年 3 月

下水道におけるウイルス対策に関する調査委員会
委員長 大村 達夫

目 次

委員の構成

まえがき

1. 本書の位置付け	1
2. ノロウイルスの特徴	2
2.1 ノロウイルスの特徴	2
2.2 ノロウイルス感染症の特徴	2
2.3 ノロウイルス感染症の感染経路	2
3. ノロウイルスの挙動実態と除去効果	4
3.1 挙動実態調査方法の概要	4
3.2 分析結果の評価にあたっての留意事項	4
3.3 下水道におけるノロウイルスの挙動実態	8
3.3.1 ノロウイルス濃度の実態調査の結果	8
3.3.2 下水処理場におけるノロウイルス除去効果	11
3.3.3 下水処理ユニットプロセス毎のノロウイルス除去効果	12
4. 考察	14
5. まとめ	17
報告書参考文献	18

参考資料編

参考1. 感染性胃腸炎とノロウイルス

参考2. ノロウイルスの分析手法

参考3. ノロウイルスの挙動実態調査

参考4. 既往文献調査による下水処理プロセスのウイルス除去効果

参考5. 関連調査

参考6. ノロウイルスの用量反応

参考7. リスクアセスメント手法による処理目標水質の検討例

参考8. 用語解説

参考資料編参考文献

1. 本書の位置付け

ノロウイルス^{*}を原因とする感染性胃腸炎は冬季に流行し、多数の感染者が発生している。平成18年には感染者数が過去最大の規模に達する大流行が発生し、水産物の買い控えが起こるなど、社会的な問題となった。

平成19年10月には、薬事・食品衛生審議会よりノロウイルス食中毒対策について、下水を適切に処理することが効果的な手段の一つであり、「かきなどの二枚貝を生産する海域においては、市町村等は、糞便等に汚染された水の適切な下水処理の普及がなされるよう努める。」との提言²⁵⁾がなされた。

しかしながら、これまで下水処理場におけるノロウイルスの挙動実態や対策手法に関する詳細な検討事例はほとんどなかった。

そこで本書は、多くの自治体の協力を得て実施した実態調査の結果、これを補完する関連調査の結果などに基づき、下水処理場におけるノロウイルスの挙動や除去効果等についてとりまとめたものである。下水道におけるノロウイルス対策を検討する際に必要となる基礎的な情報を提供することが本書の目的である。

^{*} ノロウイルス (*Norovirus*): 本書で扱うノロウイルスは、人に感染するノロウイルスを取り扱う。ノロウイルスの詳細は2. ノロウイルスの特徴を参照すること。なお、本書が引用している資料中の表記では、NoV、NVと表記されている場合がある。

2. ノロウイルスの特徴

2.1 ノロウイルスの特徴

ノロウイルスは、カリシウイルス科のノロウイルス属に分類される RNA ウイルス（プラス一本鎖 RNA）である²⁾。

また、ヒトに感染するノロウイルスは、Genogroup I (G I) と Genogroup II (G II) の 2 つの遺伝子群に分類され、我が国における感染性胃腸炎の流行の大部分は G II が原因である²⁾。

ノロウイルス属には、ウシ、ブタ、ネズミ等に感染する株も確認されてきているが、人に感染したとする報告はない。また、人に感染するノロウイルスも、人以外に感染しないとされており、環境水中で増殖することはない⁶⁾。

本報告書における調査の対象は、ノロウイルス属の G I 及び G II であり、特に表記しない限り人に感染するノロウイルスを意味するものとする。

2.2 ノロウイルス感染症の特徴

ノロウイルス感染症は、比較的少ないウイルス粒子（10～100 個のウイルス粒子）を経口摂取することにより腸管に感染するとされている²⁵⁾。症状の程度にも個人差があり、1～2 日間の潜伏期間を経て、嘔気・嘔吐、下痢・腹痛等がみられ、症状は 1～2 日続く⁵⁾。感染者の便中にはノロウイルスが大量に（1g 中に 100 万～10 億個のウイルス粒子）含まれており²⁴⁾、便中に排出される期間は、症状が消失した後も 1 週間ほど（長いときには 1 ヶ月程度）続くとされる²⁾。また、感染しても発症しない場合があり、その場合は自覚症状なしにウイルスを糞便と共に排出していることになる。

ノロウイルス感染症は、厚生労働省の食中毒統計によって発生状況を把握することができる。この傾向は、感染症発生動向調査（IDWR）（週報）³⁾の感染性胃腸炎患者数と同様の傾向を示す。IDWR によると、その流行は概ね 11 月下旬から 12 月下旬にピークを迎え、翌年の 5 月上旬ごろまでは比較的患者報告数の多い期間が継続する。一方で夏季にはほとんど流行しない。また、感染性胃腸炎の患者報告数に占めるノロウイルス感染者数の比率は、他の病原微生物を原因とするものに比べて高い傾向が見られる。

2.3 ノロウイルス感染症の感染経路

ノロウイルスの感染経路は殆どが経口感染で、次のような経路が考えられている¹⁾。

- ①環境中で汚染された食品（貝類など）を食べた場合。
- ②感染者の糞便や嘔吐物中のノロウイルスが、人の手等を介して口に入った場合。
- ③感染者の糞便や汚染された食品から食品取扱者の手や調理器具を介して、本来ノロウイルスの汚染の可能性のない別の食品が汚染され、その汚染された食品を食べた場合。
- ④感染者の嘔吐物が乾燥し、空气中に飛散して口に入った場合。
- ⑤ノロウイルスに汚染された井戸水や簡易水道を消毒不十分で摂取した場合。

貝類などの汚染は、感染者から排出される糞便を処理する下水処理場、し尿処理場及び浄化槽の処理水に微量に含まれるノロウイルスが環境水に放出され、環境水がノロウイルスに汚染されることが原因の一つであると考えられている。環境水中のノロウイルスは1日に大量の環境水を体内に取り込んで摂餌している二枚貝類の中腸腺に蓄積されて長期にわたり保存されるので、環境水中のノロウイルス濃度が希薄であってもこれらの貝には感染可能な量のウイルスが存在する場合があります、これを加熱不十分な状態で摂取することにより感染すると考えられている。

一方、ノロウイルス感染の大半は汚染された人の手から口にウイルスが運ばれる接触感染であると考えられ、特に調理従事者の手や調理器具が汚染された場合は一度に多くの感染者が発生する可能性がある。

医療機関、保育園・幼稚園、養護施設等、糞便や嘔吐物の処理を行う機会の多い場所では、処理時に手や衣服に付着したウイルスが、結果的に口に触れたり、食品・飲料に混入することで集団感染する危険が高くなるとされている²⁾。

その他ノロウイルスについての詳細は、参考1に示す。

3. ノロウイルスの挙動実態と除去効果

下水処理場におけるノロウイルスの挙動や対策手法に関する広範な検討を行うため、下水から放流先水域の河川水等まで適用可能な一般的なノロウイルスの分析手法の確立を行い、国内 18 カ所の下水処理場流入下水中のノロウイルス濃度及び、13 種類の処理プロセスによるノロウイルス除去の実態を調査した。

3.1 挙動実態調査方法の概要

下水処理場における総合的なノロウイルス除去効果を評価するため、ウイルス濃度が高い流入下水からウイルス濃度が希薄な再生水や放流先水域の環境水まで適用可能な一つの分析方法による調査とし、分析方法の違いによるウイルス分析値のずれがない均質なデータを得ることとした。これより、ノロウイルスの検出はリアルタイム RT-PCR 法を用い、前処理としての濃縮操作は陰電荷膜法を採用した。

感染性胃腸炎の流行期を 11 月～5 月、非流行期を 6 月～10 月と設定し、平成 19 年度は 11 処理場において流行期に 1 回（H20 年 2 月～3 月）、平成 20 年度は 13 処理場、21 年度は 11 処理場において、各々非流行期に 1 回（9 月～10 月）、流行期に 3 回（11 月～3 月）の調査を行った。

各下水処理場の処理フロー、試料の採水地点および調査実施年度は表 3-1 に示すとおりであり、計 19 の放流系統と計 6 の再生水系統について調査した。

本報告書で用いている各用語の定義および数値の提示方法は、後述の《用語の定義》、《数値の提示方法》に示すとおりである。

なお、詳細な調査方法等は参考 2、3 に示す通りである。

3.2 分析結果の評価にあたっての留意事項

ノロウイルスの分析結果の評価に当たって、現時点で以下のような技術的な課題があり、これらについて留意する必要がある。

- ・ノロウイルスは、培養細胞等への感染による検出ができないことから、遺伝子検出技術を活用したウイルス遺伝子配列中の特定部分の存在確認により検出している。このため、後述の実態調査結果に記すノロウイルス濃度の値で感染性や不活化効果を評価することができない。
- ・ノロウイルス濃度が既知の標準試料がないため、試料の濃縮からリアルタイム RT-PCR による検出に至る一連の操作の回収率がわからない。

これらの技術的な課題に対して、マウスノロウイルスやネコカリシウイルスなどを用いた研究がなされており、評価にあたって参考にした（参考 4 参照）。

表 3-1 挙動調査対象処理場の処理フロー

処理場	処理フロー	調査対象年度		
		H19	H20	H21
A	流入 → ●● 嫌気-好気活性汚泥法 → ●● 塩素消毒 → ●● 放流 流入 → ●● 嫌気-好気活性汚泥法 → ●● 凝集沈殿 → ●● オゾン処理 → ●● 砂ろ過 → ●● 塩素消毒 → ●● 再利用	○	○	○
B	流入 → ●● 標準活性汚泥法 → ●● 塩素消毒 → ●● 放流	○	○	○
C	流入 → ●● 標準活性汚泥法 → ●● 塩素消毒 → ●● 繊維ろ過 → ●● 塩素消毒 → ●● 放流	○	○	○
D	流入 → ●● 嫌気-好気活性汚泥法 → ●● オゾン処理 → ●● 放流	○	○	○
E	流入 → ●● 標準活性汚泥法 → ●● 塩素消毒 → ●● 放流	○	○	○
F	流入 → ●● 標準活性汚泥法 → ●● 塩素消毒 → ●● 放流 流入 → ●● 嫌気-好気活性汚泥法 → ●● 砂ろ過 → ●● オゾン処理 → ●● 再利用	○		
G	流入 → ●● 標準活性汚泥法 → ●● 塩素消毒 → ●● 放流	○	○	○
H	流入 → ●● 嫌気-好気活性汚泥法 → ●● 塩素消毒 → ●● 砂ろ過 → ●● オゾン処理 → ●● 放流 流入 → ●● 嫌気-好気活性汚泥法 → ●● 塩素消毒 → ●● 砂ろ過 → ●● オゾン処理 → ●● 再利用		○	○
I-1	流入 → ●● 標準活性汚泥法 → ●● 塩素消毒 → ●● 放流 (H20年度)		○	
I-2	流入 → ●● ステップ流入式多段硝化脱窒法 → ●● 繊維ろ過 → ●● 塩素消毒 → ●● 放流 (H21年度) 流入 → ●● ステップ流入式多段硝化脱窒法 → ●● 繊維ろ過 → ●● 塩素消毒 → ●● オゾン処理 → ●● 再利用			○
J	流入 → ●● ステップ流入式多段硝化脱窒法 → ●● 塩素消毒 → ●● 砂ろ過 → ●● 放流 (凝集剤(ポリ塩化アルミニウム)添加) 流入 → ●● ステップ流入式多段硝化脱窒法 → ●● 塩素消毒 → ●● 砂ろ過 → ●● オゾン処理 → ●● 活性炭処理 → ●● 再利用		○	○
K	流入 → ●● 標準活性汚泥法 → ●● 塩素消毒 → ●● 放流 (K-1) 流入 → ●● 嫌気-無酸素-好気法 → ●● 砂ろ過 → ●● オゾン処理 → ●● 塩素消毒 → ●● 再利用 擬似嫌気好気活性汚泥法 (K-2)		○	○
L	流入 → ●● オキシデーションディッチ法 → ●● 塩素消毒 → ●● 放流	○		
M	流入 → ●● オキシデーションディッチ法 → ●● 塩素消毒 → ●● 放流	○		
N	流入 → ●● 長時間エアレーション法 → ●● 塩素消毒 → ●● 放流	○		
O	流入 → ●● 標準活性汚泥法 → ●● 塩素消毒 → ●● 放流 流入 → ●● 嫌気-好気活性汚泥法 → ●● 塩素消毒 → ●● 放流	○	○	
P	流入 → ●● 標準活性汚泥法 → ●● 塩素消毒 → ●● 放流 流入 → ●● 嫌気-無酸素-好気法 → ●● 塩素消毒 → ●● 放流		○	
Q	流入 → ●● オキシデーションディッチ法 → ●● 塩素消毒 → ●● 放流		○	
R	流入 → ●● 膜分離活性汚泥法 (凝集剤(ポリ塩化アルミニウム)添加) → ●● 放流			○

※○：調査実施処理場

※●：サンプリング箇所

《用語の定義》

原水	: 種々の処理プロセスに流入する水をいう。
処理水	: 種々の処理プロセスで処理された水をいう。
放流水	: 下水処理場から公共用水域に放流する処理水をいう。
再生水	: 下水を再生処理した水をいう。
生物処理	: 各種活性汚泥法による処理プロセスをいう。
高度処理活性汚泥法	: 生物学的な窒素・リン除去を行う活性汚泥法をいう。本報告書では、「嫌気好気活性汚泥法」「嫌気無酸素好気法」「ステップ流入式多段硝化脱窒法」を示す。
一部高度処理	: 処理場全体ではなく幾つかの系列に高度処理活性汚泥法が導入された処理場であることを示す。
オゾン消毒	: 再生水利用の場合、消毒以外の効果も含めてオゾン処理している場合があるが、本報告書では消毒効果のみで評価しているためオゾン消毒という。
再生処理	: 下水を再利用するために付加された処理プロセスをいう。本報告書では、「繊維ろ過」「砂ろ過」「オゾン」「活性炭」「凝集沈殿」「塩素消毒」を組合せた処理を示す。

《数値の提示方法》

ノロウイルス濃度の単位 : RT-PCR 法で測定したノロウイルス濃度の単位を copies/L とした。また、国土交通省国土技術政策総合研究所（以下、国総研）で実施した調査では、定量手法に最確数法（MPN 法）を用いて濃度を算出しているが、ここでは全て copies/L と記載する（参考 3 P.13 参照）。

定量下限値 : PCR 反応あたりの測定値が 10copies を PCR の定量下限とし、その値から計算された濃度を定量下限値とした。なお、MPN 法による濃度の算出では、定量下限値と検出下限値は同じである。

検出下限値 : PCR 反応あたりの測定値が 1copy を PCR の検出下限とし、その値から計算された濃度を検出下限値とした。なお、分析操作過程における濃縮倍率は、試料中 SS 濃度により調整しているため、試料ごとに検出下限値が異なる。

ND : 検出下限値未満（ND：Not Detected）。
平均値計算、除去効果計算、グラフへのプロット等に際し、ND の試料は検出下限値としてデータを扱った。

平均値 : 平均値は相乗平均値を用いた。

$$\cdot \text{相乗平均} = \sqrt[n]{X_1 \cdot X_2 \cdots X_n}$$

除去効果 : 除去効果は原水濃度が検出下限値以上の場合に除去率または対数除去率で表した。除去率および対数除去率は以下の式により算定した。

$$\cdot \text{除去率 (\%)} = \frac{(\text{原水濃度}) - (\text{処理水濃度})}{(\text{原水濃度})} \times 100$$

$$\cdot \text{対数除去率 (Log)} = \text{Log}(\text{原水濃度}) - \text{Log}(\text{処理水濃度})$$

※除去率の表示桁数は、原則として 4 桁目を四捨五入し 3 桁とするが、99% 以上にあつては、100% 表示を避けて比較するため、桁数にこだわらず表示するものとした。

※対数除去率の表示桁数は、小数第 2 位を四捨五入し、2 桁とした。

※除去率 99.00% は、対数除去率では 2.0Log、除去率 99.900% は、対数除去率では 3.0Log である。

グラフ表示 : データ数 $n \leq 3$ のとき、データの直接プロット。
データ数 n が $10 > n \geq 4$ のとき、平均、最大、最小、及び中央値を表示。
データ数 $n \geq 10$ のとき、平均、最大、最小、中央値、及び標準偏差の範囲を表示。

3.3 下水道におけるノロウイルスの挙動実態

3.3.1 ノロウイルス濃度の実態調査の結果

下水処理場に流入するノロウイルス濃度を図 3-1 に、放流水中のノロウイルス濃度を図 3-2 に、再生水中のノロウイルス濃度を図 3-3 に示す。

①流入下水中のノロウイルス濃度

調査対象全 18 施設の流入下水中のノロウイルス濃度は、ND \sim 9.5 \times 10⁷copies/L の範囲にあった。非流行期（9 月 \sim 10 月）の検出率は、G I で 8/22 検体（36%）、G II で 12/22 検体（55%）であり、流行期（11 月 \sim 3 月）と比べて低かった。平成 20、21 年度の各処理場の最高濃度はいずれも流行期の 11 月 \sim 3 月に検出されていた。また、月ごとの平均値で、2 桁程度の変動が見られた。流入下水中のノロウイルス濃度が増加する時期は、感染性胃腸炎の流行時期に概ね一致していたが、感染性胃腸炎患者数がピークを過ぎた後も高濃度で推移した（参考 3 P.16 \sim 18 参照）。

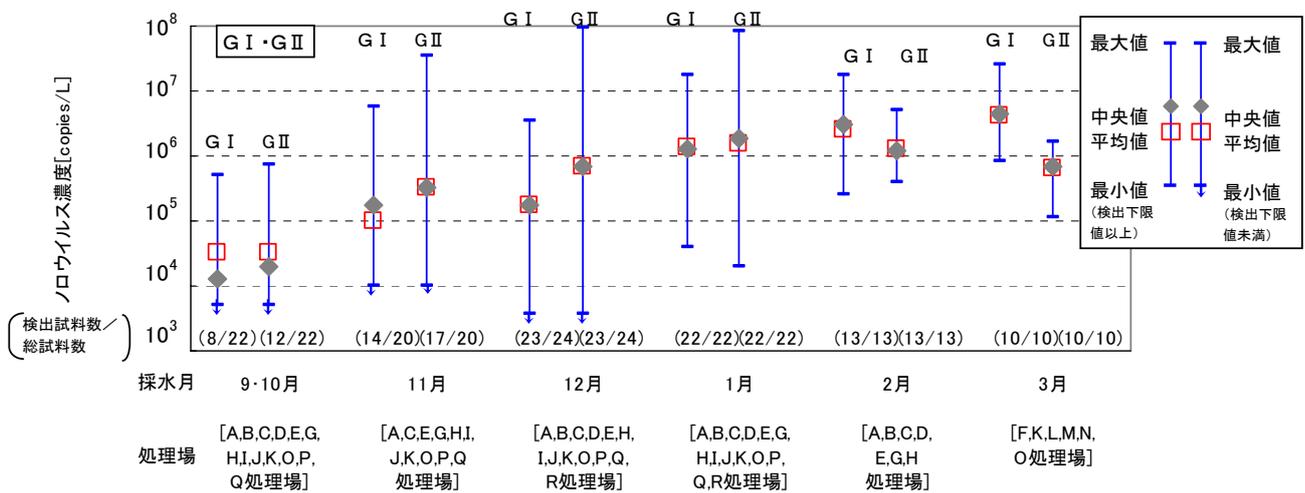


図 3-1 流入下水中のノロウイルス濃度

②放流水中のノロウイルス濃度

放流水中のノロウイルスは、非流行期・流行期を併せた全体において、GI で 58/98 検体 (59%)、GII で 45/98 検体 (46%) から検出され、最高濃度は GI の 3.0×10^5 copies/L であった。非流行期 (9月~10月) の検出率は、GI で 4/19 検体 (21%)、GII で 1/19 検体 (5%) と低かった。各処理場の最高濃度はいずれも流行期の 11月~3月に検出された。流行期の標準活性汚泥法+塩素消毒と高度処理活性汚泥法+塩素消毒による下水処理場放流水の平均値は、概ね 10^3 copies/L であった。

しかし、高度処理活性汚泥法に凝集剤を添加している J 処理場や高度処理活性汚泥法と繊維ろ過を組み合わせている I-2 処理場、オゾン消毒を行っている D 処理場、OD 法の L,M 処理場では流行期においても検出率が低く、膜分離活性汚泥法の R 処理場では検出されなかった。

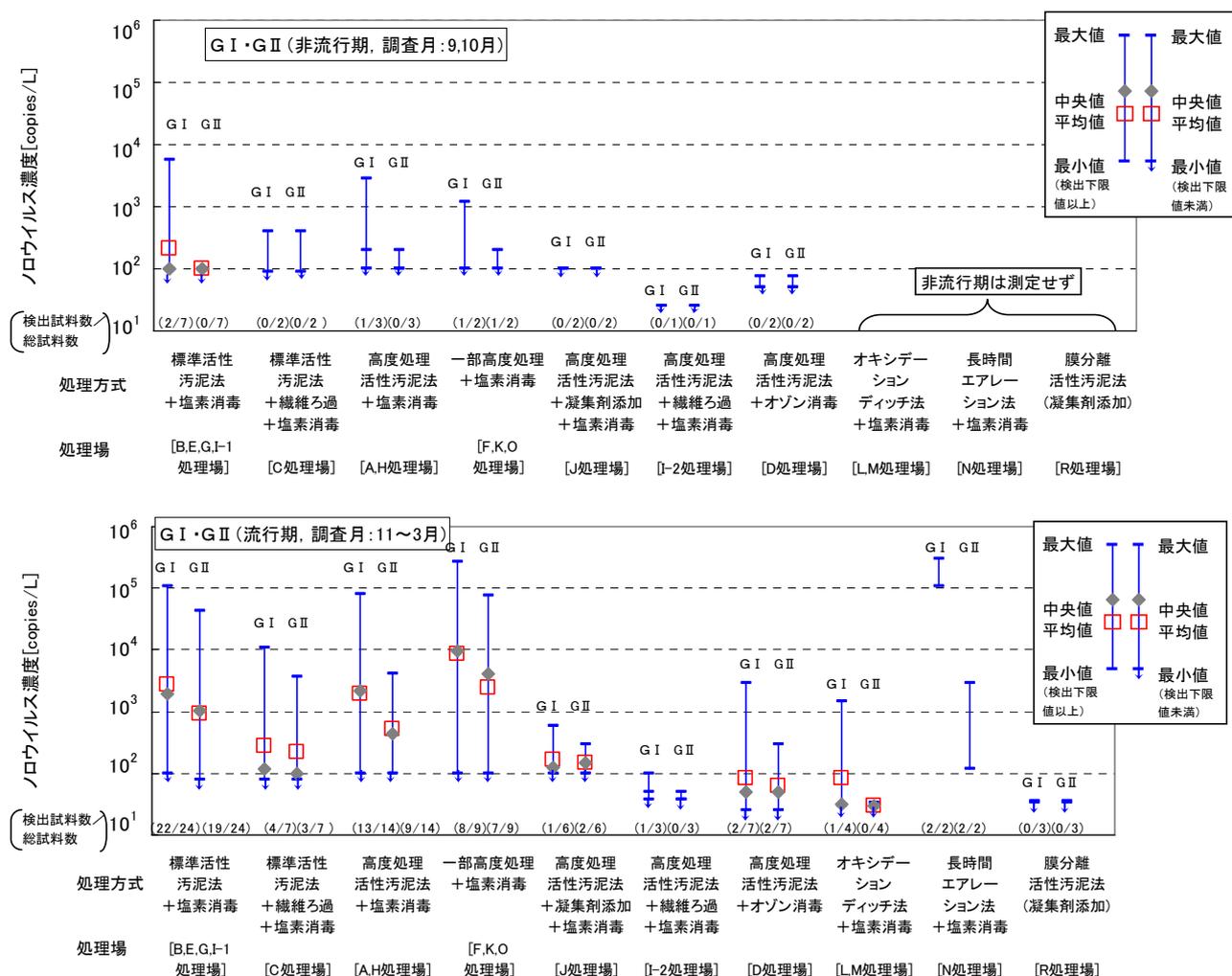


図 3-2 放流水中のノロウイルス濃度

③再生水中のノロウイルス濃度

再生水中のノロウイルスは、非流行期では全てが検出下限値未満であり、流行期においても検出率は、GIで3/30検体(10%)、GIIで2/30検体(7%)であり、良好な処理がうかがえた。

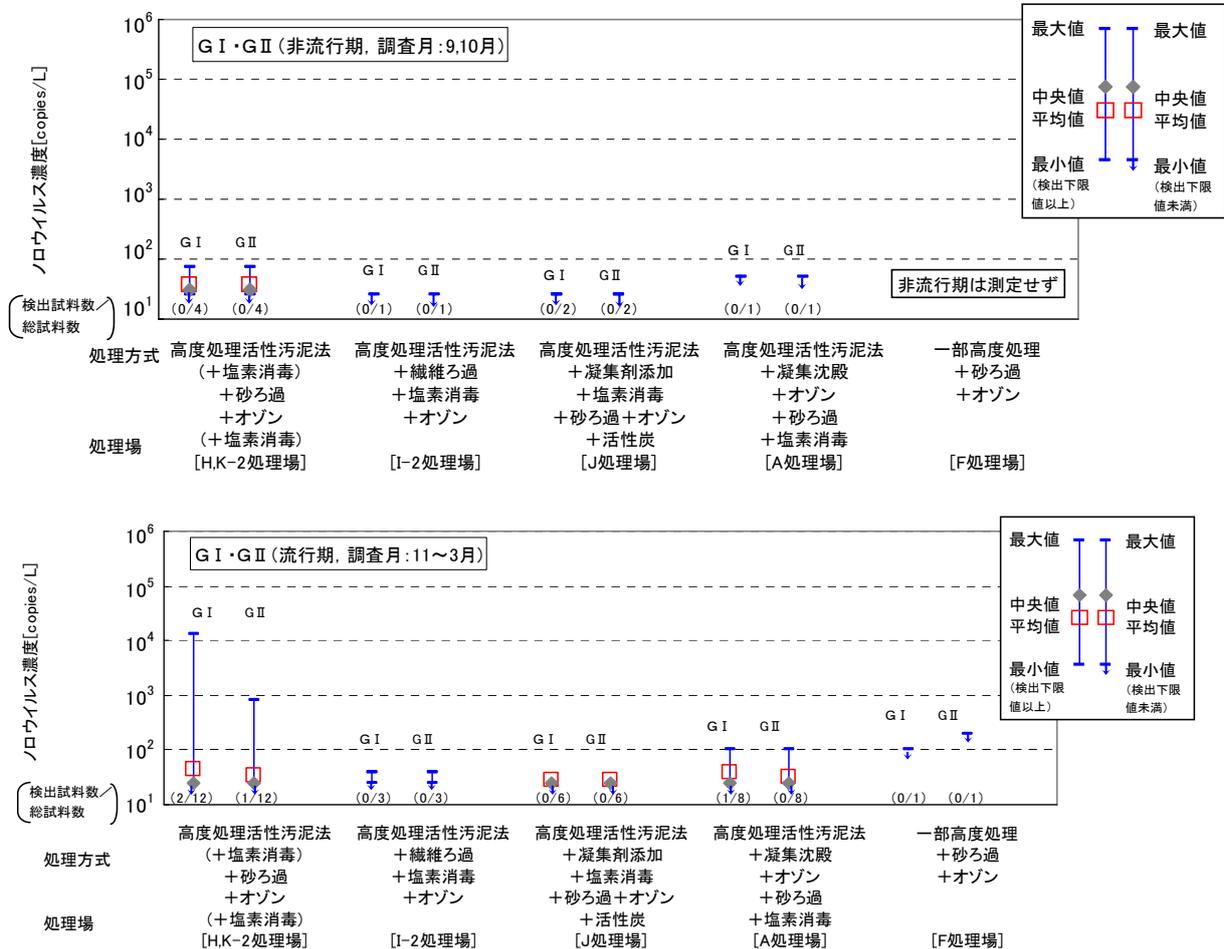


図 3-3 再生水中のノロウイルス濃度

3.3.2 下水処理場におけるノロウイルス除去効果

下水処理場におけるノロウイルス除去効果は、図 3-4 に示す通りであった。非流行期と流行期の除去効果に顕著な差は見られなかったため、通年の全データによる除去効果として表している。

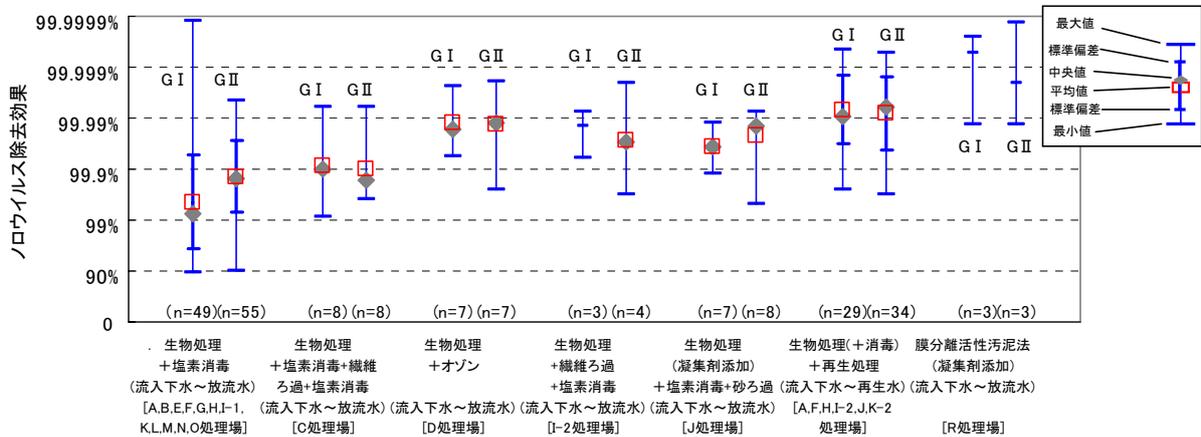


図 3-4 下水処理場におけるノロウイルス除去効果

※流入下水中のノロウイルス濃度と放流水あるいは再生水中のノロウイルス濃度から算出した除去率を示す。

※生物処理+消毒の内 H 処理場は、塩素消毒後の採水試料を対象としている。

※データ数 $n \leq 3$ のとき、データの直接プロット。

データ数 n が $10 > n \geq 4$ のとき、平均、最大、最小、及び中央値を表示。

データ数 $n \geq 10$ のとき、平均、最大、最小、中央値、及び標準偏差の範囲を表示。

①一般的な下水処理によるノロウイルス除去効果

一般的な下水処理（生物処理+塩素消毒）を行っている下水処理場におけるノロウイルスの除去効果は、GI で平均 99.56% (2.4Log)、GII で平均 99.86% (2.9Log) であった。

②下水処理+再生処理によるノロウイルス除去効果

処理場流入から再生水供給までの全工程におけるノロウイルスの除去効果は、GI で平均 99.9932% (4.2Log)、GII で平均 99.9917% (4.1Log) であった。

なお、同じ処理場において再生処理を行わない場合のノロウイルス除去効果と比較すると 1.0Log 程度高かった。

③膜分離活性汚泥法のノロウイルス除去効果

膜分離活性汚泥法においては、データ数は少ないものの除去効果が高く、流行期の GI で平均 99.9988% (4.9Log)、GII で平均 99.9985% (4.8Log) であった。

3.3.3 下水処理ユニットプロセス毎のノロウイルス除去効果

生物処理、消毒、ろ過の各プロセスにおけるノロウイルス除去効果を図 3-5～図 3-7 に示す。なお、いずれの処理ユニットプロセスにおいても非流行期と流行期において除去効果に顕著な差は見られなかった。

①生物処理（膜分離活性汚泥法は除く）におけるノロウイルス除去効果

標準活性汚泥法と高度処理活性汚泥法の除去効果は同程度であり、それぞれ G I で平均 99.03% (2.0Log)、及び 99.22% (2.1Log)、G II で平均 99.74% (2.6Log)、及び 99.75% (2.6Log) であった。

高度処理活性汚泥法に凝集剤(ポリ塩化アルミニウム)を添加している J 処理場では、データ数は少ないものの、G I で平均 99.952% (3.3Log)、G II で平均 99.977% (3.6Log) であり、他の処理場と比べて高い除去効果を示した。なお、J 処理場における凝集剤(ポリ塩化アルミニウム)添加率は、1.9～2.4mg-Al/L 程度であった。

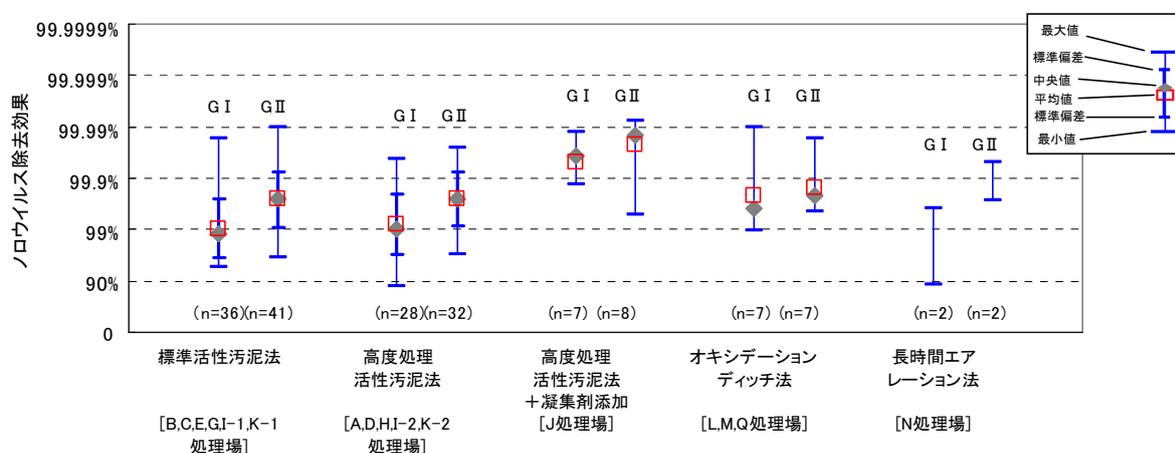


図 3-5 生物処理方式ごとのノロウイルス除去効果

※データ数 $n \leq 3$ のとき、データの直接プロット。
 データ数 n が $10 > n \geq 4$ のとき、平均、最大、最小、及び中央値を表示。
 データ数 $n \geq 10$ のとき、平均、最大、最小、中央値、及び標準偏差の範囲を表示。

②消毒処理における効果

塩素消毒では、効果が見られなかったものから最大では 99.00% (2.0Log) の効果が見られるものもあった。なお、G I で平均 53.5% (0.3Log)、G II で平均 49.3% (0.3Log) の減少効果であった。

オゾン消毒では、G I で平均 96.9% (1.5Log)、G II で平均 92.7% (1.1Log) であり、塩素消毒よりも効果が大きかった。

なお、リアルタイム RT-PCR 法によりノロウイルス濃度を測定しているため、濃度の減少量と消毒による不活化効果は一致するものではない。

消毒前後の濃度の関係、注入率と減少効果の関係等は参考 3 P.29～40 に示す。

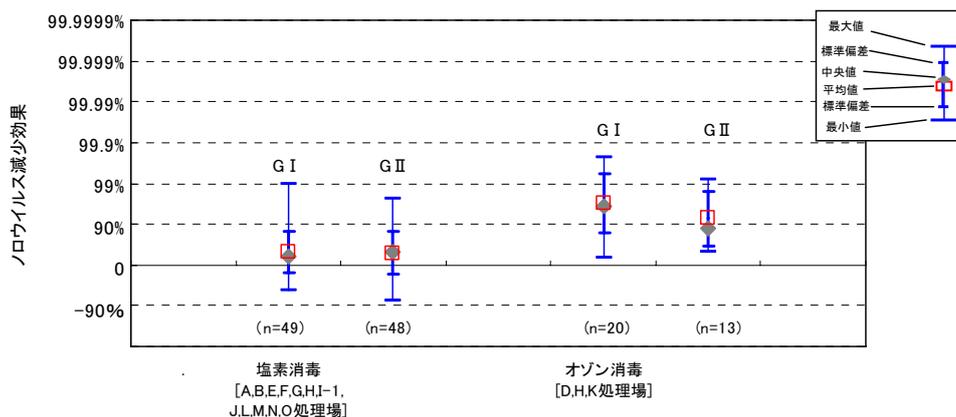


図 3-6 消毒処理における効果

※生物処理後の塩素消毒を対象とし、ろ過処理水を原水にするものは除く。

※データ数 $n \leq 3$ のとき、データの直接プロット。

データ数 n が $10 > n \geq 4$ のとき、平均、最大、最小、及び中央値を表示。

データ数 $n \geq 10$ のとき、平均、最大、最小、中央値、及び標準偏差の範囲を表示。

③砂ろ過処理・繊維ろ過処理におけるノロウイルス除去効果

砂ろ過処理においては、一部データ数は少ないものの、効果が見られなかったものから最大では 99.75% (2.6Log) の効果が見られるものもあった。なお、G I で平均 85.1% (0.8Log)、G II で平均 86.6% (0.9Log) の除去効果であった (参考 3 P.45 参照)。

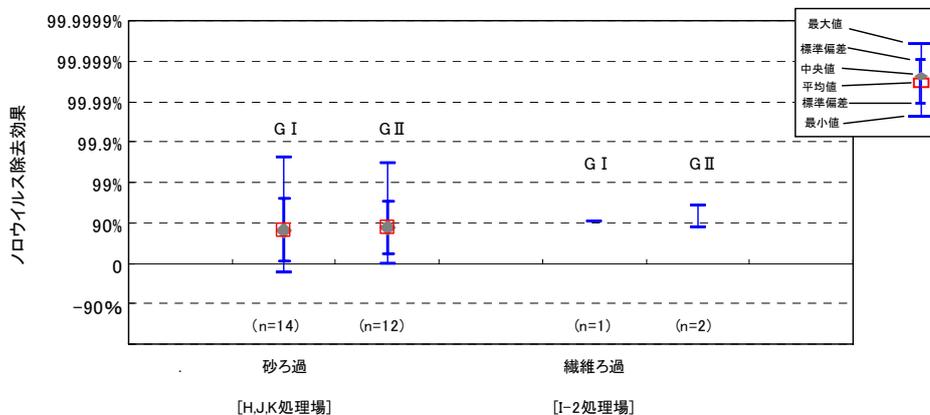


図 3-7 砂ろ過処理・繊維ろ過処理におけるノロウイルス除去効果

※砂ろ過の原水は、塩素消毒後処理水を含む。

※データ数 $n \leq 3$ のとき、データの直接プロット。

データ数 n が $10 > n \geq 4$ のとき、平均、最大、最小、及び中央値を表示。

データ数 $n \geq 10$ のとき、平均、最大、最小、中央値、及び標準偏差の範囲を表示。

4. 考察

以下に今回の実態調査の結果について、既往文献や国総研および独立行政法人土木研究所（以下、土研）におけるこれまでの調査結果を踏まえて考察する。

なお、国総研、土研の調査には、パイロットプラントにおける調査や室内実験が含まれているほかノロウイルスの濃縮手法が挙動実態調査とは異なっている場合^{*}がある。

なお、詳細は参考5に示す。

●生物処理による除去効果（膜分離活性汚泥法は除く）

- ・生物処理（膜分離活性汚泥法は除く）におけるノロウイルスの除去効果は、我が国で一般的な処理方法である標準活性汚泥法の平均値がGIで99.03%（2.0Log）、GIIで99.74%（2.6Log）であった。
- ・実態調査対象施設には標準活性汚泥法施設の他に窒素・りん除去を行う嫌気無酸素好気法等の高度処理施設やオキシデーショondiッチ法施設等が含まれており、標準活性汚泥法施設とのノロウイルス除去効果の違いについて検討した。実態調査結果では、処理方式毎（標準活性汚泥法、高度処理活性汚泥法、長時間エアレーション法）の除去効果に大きな差はなかったが、土研で実施した実下水処理場およびパイロットプラント実験による比較調査では、標準活性汚泥法より高度処理活性汚泥法の除去率の方が高い傾向が見られた¹⁰⁾（参考5 P.65 参照）。また、同様に土研の調査結果において、オキシデーショondiッチ法でノロウイルスの除去率は高くなる傾向が見られた¹⁰⁾（参考5 P.65 参照）。既往の研究では、活性汚泥によるウイルス感染価低減効果は、MLSS濃度が高い方が大きいとされている¹⁷⁾（参考4 P.58 参照）。これらの処理法は、HRTが長く、MLSS濃度が高いこと等により、活性汚泥への吸着等による除去効果が高くなることが考えられる。
- ・実態調査結果から、生物処理プロセスでりん除去を目的とした凝集剤添加を行っている処理場では、凝集剤を添加しない処理場と比べノロウイルス除去効果が高い結果が得られた。このことから、通常は凝集剤を添加していない処理場でも、凝集剤添加によってノロウイルス除去効果が高くなる可能性がある^{と推察された}。また、凝集剤添加率とノロウイルス除去効果の関係について調査を行った土研の結果では、添加濃度5mg-Al/Lでは若干の除去率向上効果が認められ、10mg-Al/Lでは明らかに高いノロウイルス除去効果が得られた。なお、凝集剤によるノロウイルス除去効果は添加直後には現れず、少し時間を要する傾向が見られた¹⁰⁾（参考5 P.66 参照）。

●膜分離活性汚泥法による除去効果

- ・膜分離活性汚泥法においては、データ数は少ないものの、GIで平均値が99.9988%（4.9Log）、GIIで平均値が99.9985%（4.8Log）の高い除去効果が得られた。
- ・膜分離活性汚泥法はHRTは短い^がMLSS濃度が高いこと^{によって}ウイルス除去性能が向上している可能性が考えられる。

^{*} ここではノロウイルス分析時の前処理手法（濃縮操作）にポリエチレングリコール法（PEG沈殿法）を用いた調査結果も含まれる。

●塩素消毒による効果

- ・実態調査結果では、塩素消毒の効果には大きなばらつきが認められたものの平均で50%程度の効果であり、最大では99.00% (2.0Log) の効果が見られるものもあった。国総研の室内実験による検討の結果によれば、遊離残留塩素濃度 (mg-遊離 Cl/L) と接触時間 (min) の積で求められる塩素消毒強度 (CT 値) が高い場合にはノロウイルス除去効果が高い傾向が見られた²¹⁾ (参考 5 P.67 参照)。下水処理施設における塩素接触時間は15~20分とほぼ一定の値で設計されていることから、今回の実態調査結果における効果のばらつきは、遊離残留塩素濃度に大きな違いがあったことによるものであると考えられる。
- ・既往の研究報告で、上水を想定した塩素消毒試験によると、PCR法による測定においてもノロウイルス GII の濃度の減少が示された報告や、ノロウイルスの近縁種とされるネコカリシウイルスやマウスノロウイルスの細胞培養による測定では CT 値で数 mg-遊離 Cl/L・min 以下の消毒で不活化された報告がある (参考 4 P.60,61 参照)。これらのことから実態調査結果で塩素消毒の効果が見られなかったのは、いずれの処理場においても注入率が 2.5mg-Cl/L 以下と低く、遊離残留塩素濃度が極めて低かったために効果が現れていないと考えられる。これより、消毒前後による効果は、実態調査結果以上に効果があると推察され、塩素消毒を強化することで、消毒効果を高めることが可能と推察される。なお、塩素消毒を強化し、残留塩素濃度を高く保持したまま放流すると、放流先水域の生物に影響を及ぼす恐れがあるため、注意が必要である。

●オゾン消毒による効果

- ・消毒にオゾンを用いた場合では、塩素消毒に比べて効果が高くなる傾向が得られた。PCR法によるウイルス濃度測定に基づくオゾン消毒効果についての既往の研究報告では、対象とする処理水の処理レベルによって効果が異なり、処理レベルの高い方が低い注入率で消毒効果が認められたとされ、砂ろ過後の処理水では注入率 10mg/L で15分接触の条件でほぼ不検出にできるとしている⁸⁾¹⁸⁾ (参考 4 P.62,63 参照)。

●UV消毒による効果

- ・今回の実態調査では、UV消毒を行っている処理施設は対象に含まれていなかった。既往の研究報告では、細胞培養により感染力価を測定できるアストロウイルスとロタウイルスを代替ウイルスとしてブラック減衰法により調査した結果、アストロウイルスは 55mJ/cm² の紫外線照射により 99.7%、ロタウイルスは 70mJ/cm² の紫外線照射により 99.9%不活化できたとされている。また、アストロウイルスとノロウイルスの PCR法による UV照射量と減衰カーブがほぼ一致したことから、ノロウイルスについても 70mJ/cm² の照射で 99.9%不活化できると推測されている¹¹⁾ (参考 4 P.63,64 参照)。

●砂ろ過処理による除去効果

- ・砂ろ過処理における除去効果は、大きなばらつきが認められたが、最大では 99.75% (2.6Log) の効果が見られた。土研での調査結果では、砂ろ過処理について、砂ろ過原水へ凝集剤を添加することで、ノロウイルス除去効果が向上する結果が得られ、ろ過処理においても凝集剤添加はノロウイルス除去効果向上に有効な手段であると考えられた¹³⁾ (参考 5 P.66 参照)。

5. まとめ

全国的な実態調査の結果、感染性胃腸炎の非流行期においても、下水処理場への流入下水中にノロウイルスが存在していること、および感染性胃腸炎の流行期に流入下水中のノロウイルス濃度が非流行期に比べて2桁程度高くなることが確認された。一方で、一般的な下水処理場におけるノロウイルスの除去率の平均値は、G I が 99.56% (2.4Log)、G II が 99.86% (2.9Log) であり、現状の下水道システムは環境水中のノロウイルス濃度の低減に一定の役割を果たしていることが確認された。このことから、公衆衛生の観点からも、未普及地域の早期解消に努めることが重要である。

今回の挙動実態調査結果および現在までに得られた知見から、下水処理水中に含まれるノロウイルスのさらなる低減を図る場合に、比較的導入が容易な手法としては凝集剤添加が効果的と言える。なお、膜分離活性汚泥法、オゾン消毒は大きなノロウイルス低減効果が得られることが判明した。

また、感染性胃腸炎患者数の増加傾向と流入下水中のノロウイルス濃度の増加傾向が概ね一致することが判明し、冬季の感染性胃腸炎患者の大半がノロウイルス感染者であると推定されることから、流入下水中のノロウイルス濃度からノロウイルス感染症の流行状況のある程度予測でき、保健部局等と連携を密にすることで、注意喚起等、感染流行への早期予防対策を行うことが可能とも言える。

しかしながら、ノロウイルスについて「不活化判定方法の開発」、「河川や海域など環境中での存在形態と挙動実態の把握」、「用量反応モデルの確立」、「水産物への蓄積メカニズムの解明と安全性評価システムの開発」等課題が数多く残されている。下水道分野でも、「下水処理プロセスにおける除去メカニズムの解明」、「効率的な除去技術の開発」、「挙動実態データの蓄積」、「汚泥処理過程における挙動実態の把握」等の課題が残されており、大学等の研究機関の協力も得ながら、さらなる調査検討が必要である。

また、水系全体のリスク低減の観点からは、1 下水処理場あるいは単独自治体（市町村）での対策のみではなく、保健部局、環境部局、水産部局等の関係機関が連携しつつ、流域単位で総合的に取り組むことが重要であり、今後の検討が求められる。

以 上

報告書参考文献

- 1) ノロウイルスに関する Q&A, 厚生労働省 (作成: 平成 16 年 2 月 4 日, 最終改定: 平成 19 年 12 月 20 日)
<http://www-bm.mhlw.go.jp/topics/syokuchu/kanren/yobou/040204-1.html>
- 2) 国立感染症研究所 感染症情報センター <http://idsc.nih.go.jp/index-j.html>
 - 【感染性胃腸炎】
http://idsc.nih.go.jp/idwr/kansen/k03/k03_11.html
 - 【ノロウイルス感染症】
http://idsc.nih.go.jp/idwr/kansen/k04/k04_11/k04_11.html
 - 【ノロウイルスの感染経路】
<http://idsc.nih.go.jp/disease/norovirus/0702keiro.html>
 - 【ノロウイルス感染症とその対策・予防】
<http://idsc.nih.go.jp/disease/norovirus/index.html>
- 3) 感染症発生動向調査(IDWR)(週報), 国立感染症研究所
(感染症法の類感染症定点把握疾患が, 全国約 3,000 カ所の小児科定点医療機関から報告)
<http://idsc.nih.go.jp/idwr/index.html>
- 4) 病原微生物検出情報(IASR)(月報), 国立感染症研究所
(地方衛生研究所で検査され, ノロウイルスであることが確認されたものが集計)
<http://idsc.nih.go.jp/iasr/index-j.html>
- 5) 東京都感染症情報センター: 感染性胃腸炎 (ノロウイルスを中心に)
<http://idsc.tokyo-eiken.go.jp/top.html>
- 6) 食品健康影響評価のためのリスクプロファイル, 内閣府食品安全委員会, 微生物・ウイルス合同専門調査会
http://www.fsc.go.jp/senmon/biseibutu_virus/index.html
 - ～ カキを主とする二枚貝中のノロウイルス ～ 2006.10 作成
 - ～ 食品中のノロウイルス ～ 2009.11(案) (第 8 回調査会資料)
- 7) ノロウイルス対策緊急タスクフォース, 東京都健康安全研究センター
http://idsc.tokyo-eiken.go.jp/diseases/gastro/noro_task/index.html
 - 【中間報告, 2007 年 (平成 19 年)】
 - 【中間報告第 2 報, 2008 年 (平成 20 年)】
 - 【中間報告第 3 報, 2009 年 (平成 21 年)】
- 8) 平成 18 年度 安全性確保のための下水処理技術に関する調査報告書, 国土交通省 都市・地域整備局 下水道部, H19.3(2007/3)
- 9) 武村清和, 大西真人, 能登一彦, 村上孝雄, 太田秀司, 再利用を目的とした膜分離活性汚泥法処理水の水質調査, 下水道研究発表会講演集, Vol.40th(H15), pp685-687 (2003/06)
- 10) 諏訪守, 岡本誠一郎, 桜井健介, ノロウイルスの除去率に及ぼす下水処理法の影響因子, (下水道協会論文集投稿中)

- 11) 伊藤敏朗, 久保田弘道, 漁業集落排水処理施設におけるノロウイルス対策について, 調査研究成果発表会 論文集—豊かな沿岸域環境創造をめざして—, 財団法人漁港魚場漁村技術研究所, H15.12, pp71-74, http://www.jific.or.jp/search/pdf_002/002_17.pdf
- 12) 加藤敏朗, 三木理, 柴田俊幸, 小型球形ウイルス(SRSV)対策技術としての光触媒/紫外線消毒法, 下水道協会誌, Vol.41, No.504, pp123-130 (2004/10)
- 13) 諏訪守, 岡本誠一郎, 尾崎正明, 陶山明子, 下水処理のノロウイルス除去効果とその検出濃度に及ぼす濃縮法の影響, 下水道協会誌 Vol.46, No.561, pp91-101, (2009/7)
- 14) 小林琢也, 佐藤純一, 恩田建介, 小林厚史, UF 処理を用いた下水二次処理水からのノロウイルス除去, 下水道研究発表会講演集, Vol.45th, pp824-826, (2008/6)
- 15) Dan Li, April Z.Gu, Miao He, Han-Chang Shi, Wan Yang, “UV inactivation and resistance of rotavirus evaluated by integrated cell culture and real-time RT-PCR assay”, Water Research 43(2009),3261-3269
- 16) 中村みやこ, 片山浩之, 李錫憲, 大垣眞一郎, 消毒における水中 RNA ウイルスの損傷の検出, 環境工学研究論文集, Vol.36, pp187-197, (1999)
- 17) 金台東, 本多裕之, 白神直弘, 矢野一好, 海野肇, 活性汚泥混合液中でのウイルス感染価の低減について, 水環境学会誌, Vol.16, No.5, pp339-345, (1993)
- 18) 岩崎旬, 村上孝雄, 下水処理水中のノロウイルスへのオゾン消毒効果, 日本オゾン協会年次研究講演会講演集, Vol.18th, pp37-40 (2008/05)
- 19) 花田茂久, 北中敦, 谷口雅英, 植村忠廣, 重松賢行, 山下尚之, 田中宏明, 農業用水への下水処理水再利用における UF 膜処理のウイルス除去性評価, 下水道研究発表会講演集, Vol.45, pp791-793, (2008/6)
- 20) オゾン処理技術の技術評価に関する報告書, 平成 21 年 4 月, 日本下水道事業団
- 21) 藤原隆司, 小宮義人, 小越眞佐司, 下水処理場におけるノロウイルスの塩素消毒の効果, 第 47 回下水道研究発表会講演集(投稿中)
- 22) 北島正章, 遠矢幸伸, 松原康一, 原本英司, 宇田川悦子, 片山浩之, 大垣眞一郎, 新たな代替指標としてマウス分離株を用いた水道水中のノロウイルスの塩素耐性の解明, 環境工学研究論文集 VoL.45 361-370
- 23) Tenuis PF, Moe CL, Lui P, Miller SE, Lindesmith L, Baric RS, Le Pendu J, Calderon RL. (2008) Norwalk virus: how infectious is it? J Med Virol. 80(8): 1468-1476
- 24) 東京都福祉保健局: 健康安全研究センター「ノロウイルスの感染拡大を防ごう」公開セミナー資料, <http://www.tokyo-eiken.go.jp/issue/health/webversion/web25.html>
- 25) ノロウイルス食中毒対策について (提言), 厚生労働省, 平成 19 年 10 月 12 日, 薬事・食品衛生審議会・食品衛生分科会食中毒部会
<http://www.mhlw.go.jp/shingi/2007/10/s1012-5.html>